

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning documents *will not* correct images,
Please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号

第2709351号

(45) 発行日 平成10年(1998) 2月4日

(24) 登録日 平成9年(1997)10月24日

(51) IntCl.⁵

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 L 21/66

H 0 1 L 21/66

L

請求項の数1(全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平4-280831

(22) 出願日 平成4年(1992) 9月25日

(65) 公開番号 特開平6-112289

(43) 公開日 平成6年(1994) 4月22日

(73) 特許権者 000207551

大日本スクリーン製造株式会社

京都府京都市上京区堀川通寺之内上る4
丁目天神北町1番地の1

(72) 発明者 河野 元宏

京都市伏見区羽東師古川町322番地 大
日本スクリーン製造株式会社 洛西工場
内

(72) 発明者 楠田 達文

京都市伏見区羽東師古川町322番地 大
日本スクリーン製造株式会社 洛西工場
内

(74) 代理人 弁理士 五十嵐 孝雄 (外1名)

審査官 土屋 知久

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 非接触C-V測定装置におけるC-V特性変換方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 絶縁膜を有する半導体ウエハに対してギャップを隔てて保持される測定用電極を備えた非接触C-V測定装置を用い、前記半導体ウエハについて得られたC-V特性を変換する方法であって、前記非接触C-V測定装置によって第1のC-V特性を得る工程と、前記半導体ウエハの絶縁膜内電荷に起因する電圧と、前記半導体ウエハの基板物質と前記測定用電極の物質との間の仕事関数の差と、前記ギャップの容量と、前記絶縁膜の容量と、前記半導体ウエハの空乏層の容量とを含む等価回路を想定し、該等価回路に従って前記第1のC-V特性を変換することにより、前記ギャップが無く前記測定用電極が前記半導体ウエハに接した仮想的な状態における第2のC-V特性を求める工程と、

を備えることを特徴とするC-V特性変換方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 この発明は、非接触C-V測定装置で得られたC-V特性を変換する方法に関し、特に、接触型C-V測定装置で得られるC-V特性と同等な特性を求める方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 半導体ウエハの表面状態を評価する方法の1つとして、C-V測定が用いられている。従来のC-V測定では、半導体ウエハの表面上に測定用の電極を形成していたが、その電極を形成するプロセスにおいて、半導体ウエハの絶縁膜中に可動イオンが混入してしまう可能性があった。従って、C-V測定の結果、絶縁膜中の可動イオン量が多いと評価された場合に、従来の

(2)

方法では、絶縁膜形成のプロセスに原因があるのか、電極形成のプロセスに原因があるのかを区別できなかった。

【0003】そこで、本出願人らは、絶縁膜上に電極を形成せずに非接触でC-V測定を行なう装置を開発し、特開平4-132236号公報にその装置を開示している。図5は、この非接触C-V測定装置の概念図である。この装置では、測定用電極201が半導体ウェハ100の表面から約1μm以下のギャップΔGを介して保持されており、この測定用電極201と半導体ウェハ100との間に交流電圧を印加することによってC-V特性を測定する。なお、上記のような電極/空気層/絶縁膜/半導体基板の構造を以下ではMAIS (Metal/Air/Insulator/Semiconductor) 構造と呼ぶ。これは、空気層(ギャップ)の無い構造をMIS構造 (Metal/Insulator/Semiconductor) と呼ぶのと同様である。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】図6(A)は非接触C-V測定装置で得られるMAIS構造のC-V特性の一例を示すグラフであり、図6(B)は接触型C-V測定装置で得られるMIS構造のC-V特性の一例を示すグラフである。これらのグラフから解るように、MAIS構造のC-V特性とMIS構造のC-V特性とはそのC-V曲線の形状がかなり異なる。また、C-V曲線から得られるフラットバンド電圧V_{fb}の値もかなりの差がある。

【0005】半導体ウェハのプロセスは、従来からMIS構造のC-V特性に基づいて行なわれていたので、非接触C-V測定装置を用いた場合にもMIS構造のC-V特性と同等の特性が得られることが好ましい。

【0006】この発明は、従来技術における上述の課題を解決するためになされたものであり、非接触C-V測定装置で得られたMAIS構造のC-V特性を変換することによって、MIS構造のC-V特性と同等な特性を得ることを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】上述の課題を解決するため、この発明による方法は、絶縁膜を有する半導体ウェハに対してギャップを隔てて保持される測定用電極を備えた非接触C-V測定装置を用い、前記半導体ウェハについて得られたC-V特性を変換する方法であって、前記非接触C-V測定装置によって第1のC-V特性を得る工程と、前記半導体ウェハの絶縁膜内電荷に起因する電圧と、前記半導体ウェハの基板物質と前記測定用電極の物質との間の仕事関数の差と、前記ギャップの容量と、前記絶縁膜の容量と、前記半導体ウェハの空乏層の容量とを含む等価回路を想定し、該等価回路に従って前記第1のC-V特性を変換することにより、前記ギャップが無く前記測定用電極が前記半導体ウェハに接した仮想的な状態における第2のC-V特性を求める工程と、

を備える。なお、この発明における「C-V特性」は、C-V曲線そのものを指すのみでなく、フラットバンド電圧などのようにC-V曲線から得られる特性値としても解釈し得る用語である。

【0008】

【作用】絶縁膜内電荷に起因する電圧と、電極と半導体基板の仕事関数差とを含む等価回路を想定するので、MAIS構造のC-V特性と同等な第2のC-V特性を求めることができる。

【0009】

【実施例】A. C-V特性の変換の考え方

図1は、MAIS構造の容量に関する等価回路を示す説明図である。半導体基板の空乏層および酸化膜にかかるバイアス電圧VMISと、MAIS構造全体にかかるバイアス電圧VMAISとの関係は、電圧分配の法則に従って次のように表わされる。

$$VMIS = VMAIS \times CMAIS / CMIS \quad \dots (1)$$

ここで、CMAISはMAIS構造の合成容量、CMISはMIS構造の合成容量であり、それぞれ次式で表わされる。

$$1/CMIS = 1/Cd + 1/Cox \quad \dots (2)$$

$$1/CMAIS = 1/CMIS + 1/Cair \quad \dots (3)$$

Cdは半導体基板100に形成される空乏層の容量、Coxは酸化膜102の容量、Cairはギャップの容量である。

【0010】非接触C-V測定装置で得られるC-V曲線は、MAIS構造のバイアス電圧VMAISと合成容量CMAISとの関係を示す曲線である。ところで、上記(1)式の右辺の合成容量CMISは(3)式を用いて求められる。すなわち、ギャップの容量CairはギャップΔGの大きさを非接触C-V測定装置で測定することによって算出でき、このギャップの容量CairとMAIS構造の合成容量CMAISから、(3)式に従ってMIS構造の合成容量CMISが算出できる。

【0011】このようにして得られたMIS構造の合成容量CMISを用いると、(1)式に従って、MAIS構造のバイアス電圧VMAISをMIS構造のバイアス電圧VMISに変換することができる。このバイアス電圧VMISと合成容量CMISとの関係は、MIS構造のC-V曲線である。

【0012】ところが、(1)式に従ってMIS構造のC-V特性を求めた場合には、次のような問題が発生することが判明した。すなわち、実際にMAIS構造やMIS構造に印加される電圧には、酸化膜内の電荷に起因する電圧V_Qや、電極物質と半導体基板物質との間の仕事関数の差φ_{ms}が含まれている。しかし、図1の等価回路ではこれらの電圧寄与分V_Q、φ_{ms}を無視しているので、(1)式によって変換して得られるC-V特性は、これらの電圧寄与分V_Q、φ_{ms}が共に0の時のみ正しい結果を与えるのである。

(3)

【0013】酸化膜内電荷による電圧 V_Q と、仕事関数の差 ϕ_{ms} とを考慮すると、MAIS構造の等価回路は図

$$V_{MIS} = (V_{MAIS} - V_{fbMAIS}) \times C_{MAIS} / C_{MIS} \quad \dots (4)$$

$$V_{fbMAIS} = \phi_{ms} - Q_{fb} / C_0 = \phi_{ms} + V_Q \quad \dots (5)$$

$$1 / C_0 = 1 / C_{air} + 1 / C_{ox} \quad \dots (6)$$

ここで、 V_{fbMAIS} はMAIS構造のC-V曲線から得られるフラットバンド電圧、 Q_{fb} は酸化膜内電荷量、 C_0 は酸化膜とギャップの合成容量である。

【0014】ただし、(4)式で与えられるバイアス電圧 V_{MIS} はフラットバンド電圧がゼロ（すなわち、 ϕ_{ms}

$$V_{MIS*} = (V_{MAIS} - V_{fbMAIS}) \times C_{MAIS} / C_{MIS} + V_{fbMIS} \quad \dots (7)$$

ここで、MIS構造のフラットバンド電圧 V_{fbMIS} は次

$$V_{fbMIS} = \phi_{ms} - Q_{fb} / C_{ox} = \phi_{ms} + V_Q \times C_0 / C_{ox} \quad \dots (8)$$

【0015】MIS構造のフラットバンド電圧 V_{fbMIS} は、次のような手順で算出される。まず、上記(5)式

$$Q_{fb} = (\phi_{ms} - V_{fbMAIS}) / (1 / C_{air} + 1 / C_{ox}) \quad \dots (9)$$

そして、(9)式で算出された酸化膜内電荷量 Q_{fb} を上記(8)式に代入することにより、MIS構造におけるフラットバンド電圧 V_{fbMIS} が算出される。なお、この際、酸化膜102の容量 C_{ox} は酸化膜の比誘電率と酸化膜の厚みとから算出される。

【0016】前述したように、非接触C-V測定装置で得られるC-V曲線は、MAIS構造のバイアス電圧 V_{MAIS} とその合成容量 C_{MAIS} との関係を示す曲線である。

そこで、MIS構造に換算したバイアス電圧 V_{MIS*} を上記(7)式に従って算出し、その合成容量 C_{MIS} を上記

(3)式に従って算出することによってMIS構造におけるC-V曲線を得ることができる。また、MIS構造のフラットバンド電圧 V_{fbMIS} は、上記(8)式および

(9)式に従って算出することができる。

【0017】B. 装置の構成と測定例

図3は、測定用電極と半導体ウェハの表面との間のギャップを測定しつつ、C-V特性の測定を行なう非接触C-V測定装置の構成を表わす概念図である。この非接触C-V測定装置は、固定台1と、固定台1の下部に設置された圧電アクチュエータ2と、圧電アクチュエータ2のさらに下部に設置された架台3とを備えている。架台3の底面にはプリズム4が設置されている。また、架台3の一方の斜面にはGaAlAsレーザなどのレーザ発振器5が固定され、他方の斜面にはフォトダイオードなどの受光センサ6が固定されている。

【0018】プリズム4の底面4aは、半導体ウェハ100を載置する試料台7の表面（平行なxy平面）と平行に設置されている。プリズム4の底面4aには、リング状の測定用電極201が形成されている。プリズム4の下方には、ギャップGを介して半導体ウェハ100が試料台7上に保持されており、半導体ウェハ100の表面100aがプリズム4の底面4aとほぼ平行になるように設定されている。この非接触C-V測定装置では、特開平4-132236号公報に詳述されているよう

2に示すものになる。図2の等価回路では、(1)式の代わりに次式が成立する。

=0、 $Q_{fb}=0$ ）の理想状態のものである。MIS構造のバイアス電圧 V_{MIS*} は、(4)式の右辺にMIS構造のフラットバンド電圧 V_{fbMIS} を加えた次式によって与えられる。

式で示される。

と(6)式を変形すると、酸化膜内電荷量 Q_{fb} が次式で与えられる。

$$\dots (9)$$

に、プリズム4の底面4aで全反射されるレーザ光のトンネル効果を利用することによって、ギャップGおよび d_{air} の値を測定している。

【0019】圧電アクチュエータ2には位置制御装置11が接続されており、位置制御装置11から与えられる電圧に応じて架台3をz方向に移動させる。受光センサ6には光量測定器12が接続され、測定用電極201と金属製の試料台7にはインピーダンスメータ13がそれぞれ接続されている。インピーダンスメータ13は、測定用電極201と試料台7との間の合成容量を測定する機器である。位置制御装置11と光量測定器12とインピーダンスメータ13は、ホストコントローラ14に接続されており、このホストコントローラ14によって測定装置全体の制御や、得られたデータの処理が行なわれる。なお、ホストコントローラ14としては、例えばパーソナルコンピュータが用いられる。

【0020】図4(A)は非接触C-V測定装置を用いて測定されたMAIS構造のC-V特性を示すグラフである。また、図4(B)は上述の変換方法に従って図4(A)のC-V特性を変換することによって得られたMIS構造のC-V特性を示すグラフである。図4(A)には、実験条件として、酸化膜の厚み d_{ox} と、ギャップ d_{air} と、半導体基板（シリコン）のドーパント濃度 N_d とが記載されている。

【0021】図4(A)のMAIS構造のC-V曲線から得られるフラットバンド電圧 V_{fbMAIS} は-0.338ボルトである。一方、図4(B)のC-V曲線から得られるフラットバンド電圧 V_{fbMIS} は0.206ボルトであり、接触型C-V測定装置と同等の結果が得られている。また、図4(B)のC-V曲線全体についても接触型C-V測定装置と同等のものが得られている。

【0022】なお、この発明は、図3の非接触C-V測定装置で測定されたC-V特性を変換する場合に限らず、一般に、半導体ウェハに対してギャップを隔てて保

(4)

持される測定用電極を備えた非接触C-V測定装置を用いて得られたC-V特性を変換する場合に適用することができる。また、この発明は上記実施例に限られるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々の態様において実施することが可能である。

【0023】

【発明の効果】以上説明したように、本発明のC-V特性変換方法によれば、絶縁膜内電荷に起因する電圧と、電極と半導体基板の仕事関数差を含む等価回路を想定するので、MAIS構造のC-V特性に基づいてMIS構造のC-V特性と同等な特性を求めることができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】MAIS構造の容量に関する等価回路を示す説明図。

【図2】C-V特性変換用のMAIS構造の等価回路を示す説明図。

【図3】非接触C-V測定装置の構成を表わす概念図。

【図4】MAIS構造のC-V特性の測定結果と、これを変換して得られたMIS構造のC-V特性とを示すグラフ。

【図5】非接触C-V測定装置の概念図。

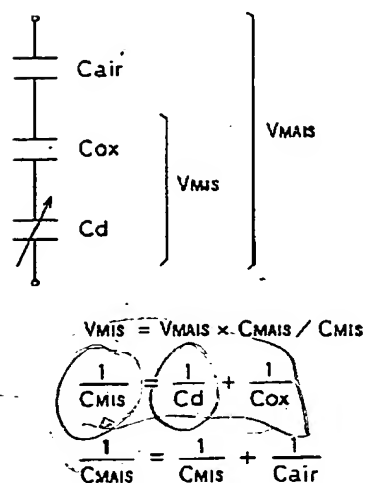
【図6】MAIS構造とMIS構造のC-V特性を比較して示すグラフ。

【符号の説明】

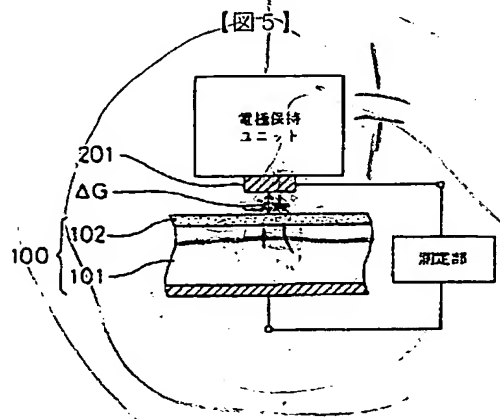
- 1…固定台
- 2…圧電アクチュエータ
- 3…架台
- 4…プリズム
- 5…レーザ発振器
- 6…受光センサ
- 7…試料台
- 11…位置制御装置
- 12…光量測定器
- 13…インピーダンスメータ
- 14…ホストコントローラ
- 100…半導体ウェハ
- 101…基板
- 102…絶縁膜
- 201…測定用電極

- Cair …ギャップの容量
- Cd …半導体ウェハの空乏層の容量
- Cox …酸化膜の容量
- C_o …酸化膜とギャップの合成容量
- CMAIS …MAIS構造の容量
- CMIS …MIS構造の容量
- VfbMAIS…MAIS構造のフラットバンド電圧
- VfbMIS …MIS構造のフラットバンド電圧
- VMAIS …MAIS構造のバイアス電圧
- VMIS* …MIS構造のバイアス電圧

【図1】

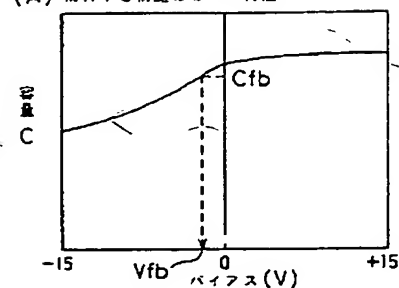


【図5】

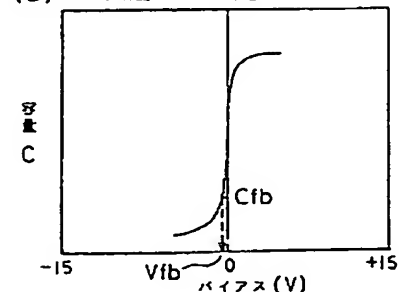


【図6】

(A) MAIS構造のC-V特性

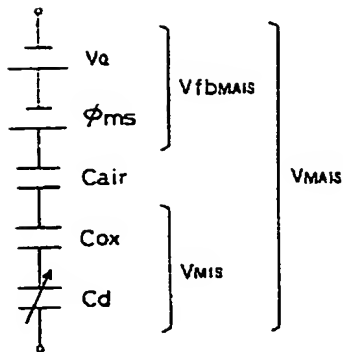


(B) MIS構造のC-V特性



(5)

【図2】



$$V_{MIS} = (V_{MAIS} - V_{fbMAIS}) \times C_{MAIS} / C_{MIS} + V_{fbMIS}$$

$$V_{fbMAIS} = \phi_{ms} - \frac{Q_{fb}}{C_o} = \phi_{ms} + V_a$$

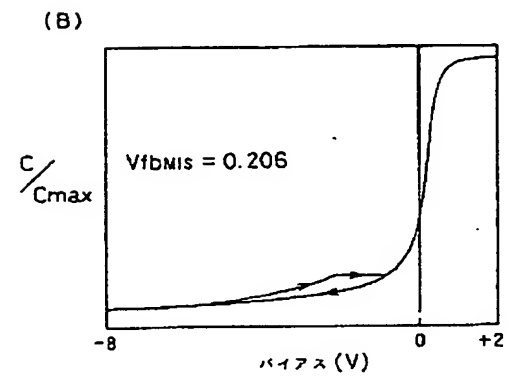
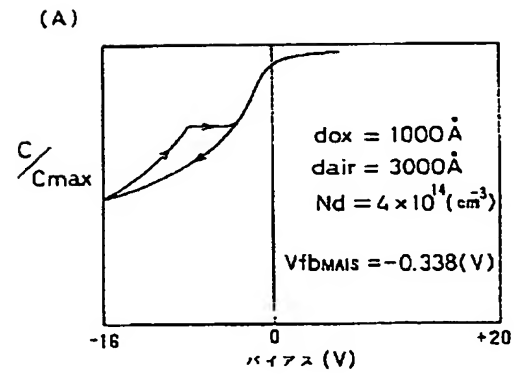
$$V_{fbMIS} = \phi_{ms} - \frac{Q_{fb}}{C_{ox}} = \phi_{ms} + V_a \times C_o / C_{ox}$$

$$\frac{1}{C_{MIS}} = \frac{1}{C_d} + \frac{1}{C_{ox}}$$

$$\frac{1}{C_{MAIS}} = \frac{1}{C_{MIS}} + \frac{1}{C_{air}}$$

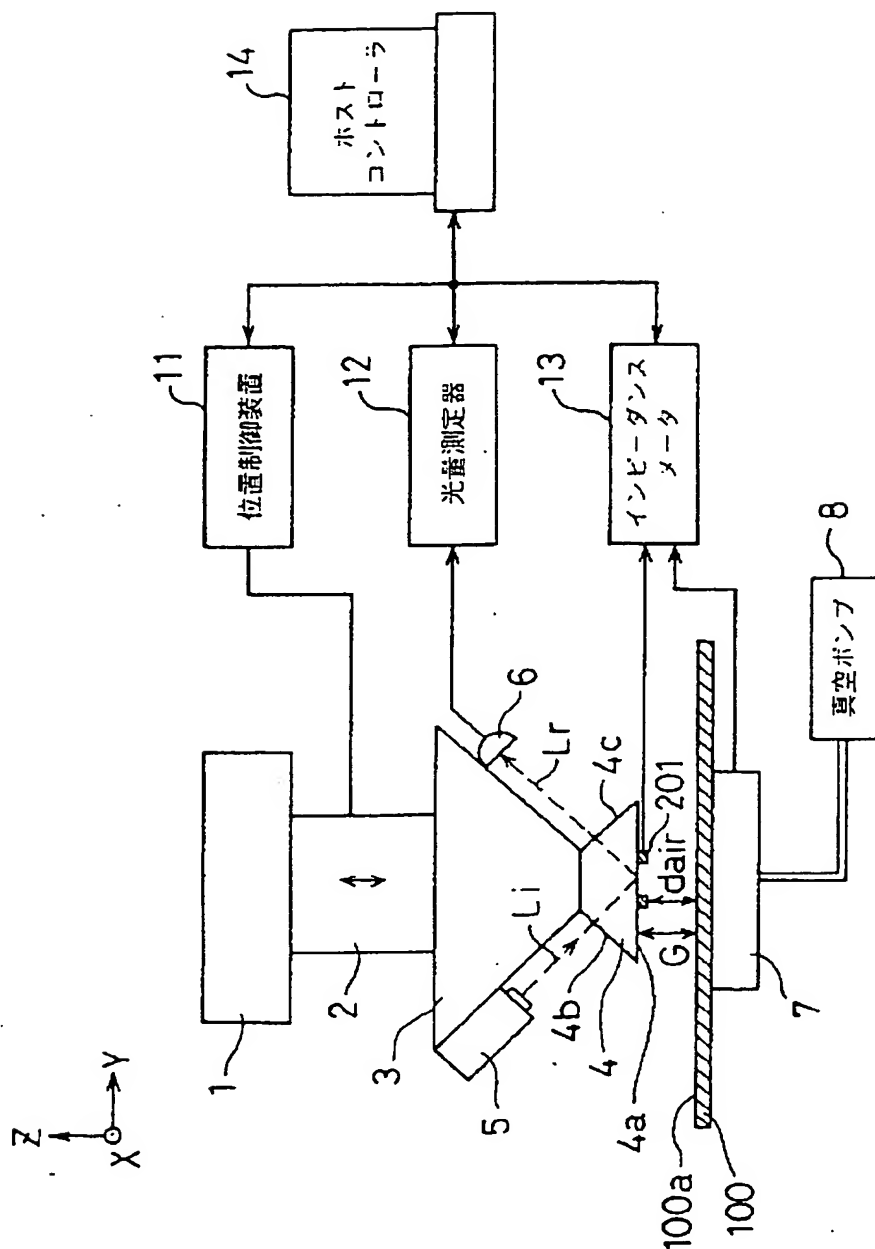
$$\frac{1}{C_o} = \frac{1}{C_{air}} + \frac{1}{C_{ox}}$$

【図4】



(6)

【図3】



フロントページの続き

(72) 発明者 中谷 郁祥
 京都市伏見区羽東師古川町322番地 大
 日本スクリーン製造株式会社 洛西工場
 内

(56) 参考文献 特開 平2-170446 (J P, A)
 特開 平4-132236 (J P, A)